

**В Е С Т Н И К  
ТОМСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА**

**ОБЩЕНАУЧНЫЙ ПЕРИОДИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ**

№ 290

Март

2006

**Серия «Математика. Кибернетика. Информатика»**

Свидетельства о регистрации: бумажный вариант № 018694, электронный вариант № 018693  
выданы Госкомпечати РФ 14 апреля 1999 г.

ISSN: печатный вариант – 1561-7793; электронный вариант – 1561-803X  
от 20 апреля 1999 г. Международного Центра ISSN (Париж)

**СОДЕРЖАНИЕ**

**ИСТОРИЯ ТГУ И ОБРАЗОВАНИЯ В СИБИРИ**

<b>Багров В.Г.</b> У истоков Томской школы теоретиков .....	5
---	---

**МАТЕМАТИКА**

<b>Александров И.А., Копанева Л.С.</b> Об одном свойстве отображений полуплоскости на области с симметрией переноса.....	9
<b>Гензе Л.В.</b> Свободные булевы топологические группы .....	11
<b>Гердт И.В.</b> Малые абелевы группы .....	14
<b>Гриншпон Я.С.</b> Локально крестовые множества в топологиях раздельной непрерывности.....	18
<b>Дмитренко А.Г., Пастухова Т.Н.</b> Численный метод решения задач электромагнитного рассеяния на трехмерном магнитодиэлектрическом теле.....	24
<b>Ельцова Т.А.</b> Гомоморфные образы абелевых групп.....	30
<b>Забарина А.И.</b> К определению циклического порядка.....	33
<b>Забарина А.И., Пестов Г.Г.</b> К альтернативной теории множеств.....	35
<b>Замалиева И.В.</b> Отображение полуплоскости на круговой четырехугольник без внешних точек .....	38
<b>Зиновьев Е.Г.</b> Об одном обобщении колец псевдорациональных чисел.....	46
<b>Катеринчук О.М.</b> $K$ -большие и обобщенно $K$ -большие абелевы группы .....	48
<b>Кирияцкий Э.Г., Касаткина Т.В.</b> Об одном обобщении класса Левандовского .....	56
<b>Кирияцкий Э.Г., Кирияцкий Е.Э.</b> Об однолистных в полуплоскости функциях с отличными от нуля конечными разностями.....	60
<b>Кобылина М.С.</b> Локально равномерно выпуклые пространства вида $C(K)$ , где $K$ – линейно упорядоченный сепарабельный компакт.....	64
<b>Лазарев В.Р.</b> О расширенном сопряженном к пространству $C_p(X)$ .....	66
<b>Либин Э.Е., Чахлов С.В.</b> Преобразование синограмм.....	68
<b>Мисяков В.М.</b> О сепарабельности прямого произведения произвольных абелевых групп.....	70
<b>Онищук Н.М.</b> Об одном классе векторных полей .....	72
<b>Романович В.А.</b> О размерности кардинальной степени модулярной решетки .....	78
<b>Сижук Т.П.</b> Об уклонении образов гладких кривых при однолистных выпуклых отображениях единичного круга .....	83
<b>Тимошенко Е.А.</b> Радикальные классы, замкнутые относительно сервантных подгрупп .....	86
<b>Ярдыков Е.Ю.</b> Простые модули над кольцами обобщенных матриц.....	89

**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ**

<b>Авдеенко С.Н.</b> Оценка доходной недвижимости в условиях неопределенности интервального вида .....	95
<b>Астафьева Е.В., Терпугов А.Ф.</b> Модель рекламной компании, когда объем продаж зависит от влияния рекламы .....	99
<b>Богданов А.Л.</b> Эконометрический анализ рынка подержанных автомобилей .....	104
<b>Вавилов В.А., Назаров А.А.</b> Диффузионная аппроксимация процесса изменения состояний в математической модели устойчивых сетей множественного доступа в случайной среде.....	108
<b>Вавилов В.А., Назаров А.А.</b> Исследование математических моделей неустойчивых сетей множественного доступа в диффузионной среде .....	114
<b>Глухова Е.В., Фомин А.А.</b> Оптимизация деятельности страховой компании при периодическом потоке страховых выплат.....	124
<b>Горбенко К.А., Терпугов А.Ф.</b> Стохастическая модель функционирования страховой компании О.А. Змеева при наличии портфеля рисков .....	128
<b>Григорьев Ю.Д., Ле Динь Шон.</b> О комонотонных рисках в договорах перестрахования с двумя уровнями удержаний.....	135
<b>Даммер Д.Д.</b> Исследование математической модели страховой компании в виде бесконечно линейной системы массового обслуживания при синхронном дважды стохастическом входящем потоке рисков .....	141
<b>Демин Н.С., Кулешова Е.В.</b> Управление односекторной экономикой на конечном интервале времени с учетом экологических затрат .....	145

Дмитренко А.Г., Келлер Ю.А. Компьютерное моделирование электромагнитного рассеяния на структурах из нескольких тонких проводников.....	150
Жабин Д.Н., Масалова Е.А., Шаповалов А.В. Динамическое управление инвестиционным портфелем .....	158
Змеева Е.Е., Терпугов А.Ф. Управление розничной ценой продажи.....	163
Китаева А.В., Терпугов А.Ф. Управление капиталом фонда социального страхования.....	167
Кравченко М.Л., Грекова Т.И. Моделирование экономических систем с применением нейронных сетей.....	169
Моисеева С.П., Морозова А.С., Назаров А.А. Исследование суммарного потока обращений в бесконечно линейной СМО с повторным обслуживанием.....	173
Назаров А.А., Семёнова Т.Г. Математическая модель поведения участника торгов на фондовой бирже в условиях стационарности цены активов .....	176
Назаров А.А., Цой С.А. Общий подход к исследованию марковских моделей сетей передачи данных, управляемых динамическим протоколом случайного множественного доступа.....	180
Параев Ю.И., Цветницкая С.А. Управление инвестиционным портфелем в задаче слежения.....	187
Поддубный В.В., Сухарева Е.А. Исследование свободного и стабилизируемого рынка, описываемого динамической моделью Вальраса – Маршалла с запаздыванием.....	190
Туенбаева А.Н. Исследование немарковской модели сети связи случайного доступа с МР-входящим потоком .....	199
Туренова Е.Л. Исследование процесса изменения капитала при непрерывном расходовании средств, зависящем от их объема на активном счете.....	203
Чаусова Е.В. Динамическая сетевая модель управления запасами с интервальной неопределенностью спроса и потерь запаса.....	208

### ТЕОРИЯ ВЕРОЯТНОСТЕЙ И МАТЕМАТИЧЕСКАЯ СТАТИСТИКА

Аникина А.В., Демин Н.С. Исследование европейского опциона продажи с последствием в случае выплаты дивидендов .....	216
Григорьев Ю.Д. Актуарные функции со случайной процентной ставкой.....	221
Ломакина С.С., Смагин В.И. Робастные следящие нестационарные системы с фильтром в контуре управления.....	226
Поддубный В.В., Шевелев О.Г., Фатыхов А.А. Сравнительный анализ эффективности алгоритмов распознавания авторства текстов по частотам переходов .....	232
Радюк Л.Е. Альтернативный подход к статистическому анализу результатов имитационного моделирования.....	235
Решетникова Г.Н. Следящая система адаптивного управления с прогнозирующей моделью пониженного порядка .....	237
Решетникова Г.Н. Синтез адаптивного управления по локальному критерию с моделью пониженного порядка .....	241
Смагин В.И., Смагин С.В. Управление запасами по двум критериям с учетом ограничений .....	244

### ТЕОРИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Шидловский С.В. Система автоматического регулирования, инвариантная к параметрическим возмущениям, на базе нечеткой логики.....	247
---	-----

### ИНФОРМАТИКА И ПРОГРАММИРОВАНИЕ

Бабанов А.М. Сравнительный анализ семантических моделей, применяемых для проектирования схем баз данных.....	251
Бабанов А.М. Формальная система теории семантически значимых отображений.....	261
Змеев О.А., Малиновский А.Ю. Архитектура расширяемого ядра инструмента SADT-моделирования .....	264
Мирза Н.С., Петренко Д.А., Скворцов А.В. Технология трехмерной визуализации данных ГИС и САПР IndorViewer3D.....	267
Мирза Н.С., Скворцов А.В., Чаднов Р.В. Визуализация сверхбольших поверхностей .....	271
Петренко Д.А., Мирза Н.С., Скворцов А.В. Взаимодействие объектов в системе автоматизированного проектирования IndorCAD .....	275
Рюмкин А.И. Модель планировочной структуры города .....	279
Рюмкин А.И., Тябаев Е.С. О моделировании расселения региона .....	283
Сарычев Д.С., Снежко В.В. Телеметрия в геоинформационной системе электрических сетей.....	288
Фомичёв В.М. Исследование наследственных признаков в конечных группах .....	294
Чертов А.А., Лавров В.А. Методы и алгоритмы для оптимизации видеороликов формата FBR по размеру .....	297
Шевелев О.Г., Петраков А.В. Классификация текстов с помощью деревьев решений и нейронных сетей прямого распространения .....	300

### ПРОБЛЕМЫ ОБРАЗОВАНИЯ

Ельцов А.А., Ельцова Г.А., Магазинников Л.И. Дифференциальное исчисление в курсе математики втуза.....	308
Лещинский Б.С. Программная система консультирования по фармакологическому взаимодействию лекарственных препаратов.....	311

КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ .....	315
-----------------------------------	-----

РЕФЕРАТЫ СТАТЕЙ НА РУССКОМ И АНГЛИЙСКОМ ЯЗЫКАХ.....	320
---	-----

---

Certification of registration: printed version № 018694, electronic version № 018693  
Issued by Russian Federation state committee for publishing and printing on April, 14, 1999.  
ISSN: printed version – 1561-7793; electronic version – 1561-803X  
on April, 20, 1999 by International centre ISSN (Paris)

---

## CONTENTS

### THE HISTORY OF TOMSK STATE UNIVERSITY AND EDUCATION IN SIBERIA

<b>Bagrov V.G.</b> At the beginning of the Tomsk school of theorists .....	5
--	---

### MATHEMATICS

<b>Alexandrov I.A., Copaneva L.S.</b> About one property of mappings of the half-plane on domains with symmetry carry .....	9
<b>Genze L.V.</b> Free Boolean topological groups .....	11
<b>Gerdt I.V.</b> Small Abelian groups. In the paper the concept of small Abelian group is introduced .....	14
<b>Grinshpon Ya.S.</b> Locally cross sets in the topologies of separate continuity .....	18
<b>Dmitrenko A.G., Pastuhova T.N.</b> A numerical method for investigating electromagnetic scattering by three-dimensional magnetodielectric body .....	24
<b>Yeltsova T.A.</b> Homomorphic images of Abelian groups .....	30
<b>Zabarina A.I.</b> On the definition of the cyclic order .....	33
<b>Zabarina A.I., Pestov G.G.</b> On the alternative set theory .....	35
<b>Zamalieva I.V.</b> Mapping of the half-plane on the circular quadrangle without exterior points .....	38
<b>Zinoviev E.G.</b> On one of generalizations of rings of pseudorational numbers .....	46
<b>Katerinchuk O.M.</b> $K$ -large and general $K$ -large of the Abelian groups .....	48
<b>Kirjatskij E.G., Kasatkina T.V.</b> About one generalization of Levandovskij class .....	56
<b>Kirjatskii E.G., Kirjatskii E.E.</b> On functions being univalent in the half-plane with nonvanishing finite differences .....	60
<b>Kobyлина M.S.</b> Locally uniformly spaces in the form of $C(K)$ , where $K$ is a linearly ordered separable compact .....	64
<b>Lazarev V.R.</b> On the notion of extended dual of the space $C_p(X)$ .....	66
<b>Libin E.E., Chakhlov S.V.</b> A transformation of Sinograms .....	68
<b>Misyakov V.M.</b> On separability of direct product of arbitrary Abelian groups .....	70
<b>Onishchuk N.M.</b> On a class of vector fields .....	72
<b>Romanovitsh V.A.</b> On the dimension of cardinal degree of a modular lattice .....	78
<b>Sizhuk T.P.</b> About evasion of images smooth curve at univalent convex mapping of the unit circle .....	83
<b>Timoshenko E.A.</b> Radical classes which are closed under pure subgroups .....	86
<b>Yardikov E.Yu.</b> Simple modules over generalized matrix rings .....	89

### MATHEMATICAL MODELING

<b>Avdeenko S.N.</b> Estimation of profitable premises under interval uncertainty .....	95
<b>Astafyeva Ye.V., Terpugov A.F.</b> Mathematical model of advertising campaign when the amount of sells depend on advertising .....	99
<b>Bogdanov A.L.</b> Econometrics analysis of the secondary cars market .....	104
<b>Vavilov V.A., Nazarov A.A.</b> Diffusion approximation of the process of the change the conditions in mathematical model of the firm networks of the plural access in casual ambience .....	108
<b>Vavilov V.A., Nazarov A.A.</b> Investigation of the mathematical models of the unstable networks of the plural access in diffusion ambience .....	114
<b>Glukhova Ye.V., Fomin A.A.</b> Optimization of activity of insurance company while the periodical flow of insurance payments .....	124
<b>Gorbenko K.A., Terpugov A.F.</b> Stochastic model of functioning of insurance company O.A. Zmeev at presence of a portfolio of risks .....	128
<b>Grigoriev Yu.D., Le Dinh Son.</b> On comonotonic risks in the two-levels reinsurance treaties .....	135
<b>Dammer D.D.</b> Investigation of mathematical model of insurance company as an interminable linear queueing system with synchronous twice-stochastic flow of entrance risks .....	141
<b>Dyomin N.S., Kuleshova E.V.</b> The management of one-sector economy with provision for ecological expenses at the limited time interval .....	145
<b>Dmitrenko A.G., Keller Yu.A.</b> Computer modeling of electromagnetic scattering by structures comprising several thin wires .....	150
<b>Zhabin D.N., Masalova E.A., Shapovalov A.V.</b> Dynamic investment portfolio control .....	158

<b>Zmeyeva Ye.Ye., Terpugov A.F.</b> The control of retail price .....	163
<b>Kitayeva A.V., Terpugov A.F.</b> The social insurance fund capital management .....	167
<b>Kravchenko M.L., Grekova T.I.</b> Modeling of economic systems with using of neural networks .....	169
<b>Moiseyeva S.P., Morozova A.S., Nazarov A.A.</b> Investigation of the total flow of appeals in infinite lines queuing system with repeated service .....	173
<b>Nazarov A.A., Semyonova T.G.</b> The mathematical model of behavior of the trader in stock exchange in the conditions of stationarity of prices of stocks .....	176
<b>Nazarov A.A., Tsoy S.A.</b> Common approach to Markoff models investigation of networks with dynamic carrier sense multiple access protocols .....	180
<b>Paraev J.I., Tsvetnitskaja S.A.</b> Control of investment portfolio in tracking problem.....	187
<b>Poddubny V.V., Sukhareva E.A.</b> The research of free and being stabilized market subscribed by the delayed dynamic model of Walras – Marshall.....	190
<b>Tuenbaeva A.N.</b> Investigation of the non-markovian model of a network of connection of casual multiple access with MP-arrival stream .....	199
<b>Turenova Ye.L.</b> The investigation of principal changing process on continuous spending of funds depending on their amount on active account .....	203
<b>Chausova E.V.</b> Dynamic network inventory control model with interval uncertainties of demand and storage loss .....	208

#### PROBABILITY THEORY AND MATHEMATICAL STATISTICS

<b>Anikina A.V., Demin N.S.</b> The research of the European look-back put-option in the case of dividends payment .....	216
<b>Grigoriev Yu.D.</b> Actuarial functions with the stochastic interest rate.....	221
<b>Lomakina S.S., Smagin V.I.</b> Robust tracking controller for time varying systems with a filter in control loop .....	226
<b>Poddubny V.V., Shevelyov O.G., Fatykhov A.A.</b> The comparative analysis of efficiency of algorithms of texts' authorship recognition on transitions' frequencies .....	232
<b>Radjuk L.E.</b> Alternative approach to the statistical analyses task of results on simulation testing.....	235
<b>Reshetnikova G.N.</b> Tracking systems of adaptive control with the predictive model of reduced order .....	237
<b>Reshetnikova G.N.</b> Adaptive control synthesis utilizing local criterion with the reduced order model .....	241
<b>Smagin V.I., Smagin S.V.</b> Inventory control on two criterions with restrictions.....	244

#### DYNAMIC SYSTEMS THEORY

<b>Shidlovskiy S.V.</b> Invariant to parametrical perturbation control system based on fuzzy logic .....	247
--	-----

#### INFORMATICS AND PROGRAMMING

<b>Babanov A.M.</b> Comparative analysis of semantic models applicable for data-base schemes design.....	251
<b>Babanov A.M.</b> Formal system of the semantically significant mappings theory .....	261
<b>Zmeyev O.A., Malinowski A.Yu.</b> The architecture of the extensible kernel of SADT-modeling tool.....	264
<b>Mirza N.S., Petrenko D.A., Skvortsov A.V.</b> IndorViewer3D – a 3D-visualization technology for geoinformational and computer-aided design systems .....	267
<b>Mirza N.S., Skvortsov A.V., Chadnov R.V.</b> Very large terrains visualization.....	271
<b>Petrenko D.A., Mirza N.S., Skvortsov A.V.</b> Computer-aided design system IndorCAD objects interaction.....	275
<b>Ryumkin A.I.</b> Model of planning structure of the city and tasks of the town-planning analysis .....	279
<b>Ryumkin A.I., Tjabaev E.S.</b> About regional resettlement modeling .....	283
<b>Sarychev D.S., Snezhko V.V.</b> Telemetry in a geoinformation system of the power networks .....	288
<b>Fomichev V.M.</b> Investigation of heritable features in finite groups.....	294
<b>Chertov A.A., Lavrov V.A.</b> FBR file format is used to store a user activity by the product “BB FlashBack”.....	297
<b>Shevelyov O.G., Petrakov A.V.</b> Text classification with decision trees and feed-forward neural networks.....	300

#### PROBLEMS OF EDUCATION

<b>Yeltsov A.A., Yeltsova G.A., Magazinnikov L.I.</b> Differential calculation in course of mathematics in technical university .....	308
<b>Leshchinskiy B.S.</b> Software consulting system of pharmacological interactions of the drugs.....	311

<b>BRIEF INFORMATION ABOUT THE AUTHORS</b> .....	315
--	-----

<b>SUMMARIES OF THE ARTICLES IN RUSSIAN AND ENGLISH LANGUAGES</b> .....	320
---	-----

## ВИЗУАЛИЗАЦИЯ СВЕРХБОЛЬШИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

В данной работе рассматриваются алгоритмы, позволяющие эффективно работать со сверхбольшими поверхностями. В основе разработанных алгоритмов построения и визуализации больших поверхностей лежит особая структура – «мульти-триангуляция», которая позволяет получить поверхность с различной степенью детализации. Авторами предлагается модифицировать структуру мультитриангуляции таким образом, чтобы можно было работать со сверхбольшими моделями поверхностей, т.е. моделями данных, которые заведомо не умещаются в оперативной памяти компьютера.

На сегодняшний день очень много графических программных систем используют цифровые модели поверхности. Для задач ГИС, САПР, систем трехмерного моделирования и других графических систем очень актуальной является проблема обработки больших (детализированных) поверхностей. Для визуализации огромных трехмерных моделей с хорошим качеством используются очень трудоемкие вычисления, требующие мощного аппаратного обеспечения, а для задачи визуализации сверхбольших поверхностей в режиме реального времени до сих пор не было найдено решения.

### 1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

**Определение.** Поверхностью будем называть однозначную функцию высот от планового положения точек.

**Определение.** *Сверхбольшой* поверхностью будем называть такую поверхность, исходные данные которой не умещаются в оперативной памяти компьютера.

Для представления поверхностей в 3D-виде, как правило, используют *неравномерную сеть треугольников (TIN)*, представляющую собой набор треугольников, образующих в проекции на ось  $XU$  *триангуляцию* – планарный граф, все конечные грани которого являются треугольниками [1]. Таким образом, *TIN* – это триангуляция, каждому узлу которой поставлена в соответствие его высота (координата  $Z$ ). Для работы с *TIN*, построенной по огромному массиву входных данных, необходимо иметь мощное аппаратное обеспечение или использовать специальные алгоритмы упрощения *TIN* [1]. Но использование алгоритмов упрощения изначально подразумевает необходимость нахождения некоторого компромисса между быстротой обработки поверхности и качеством получаемых результатов. Данная проблема решается с помощью использования *мультитриангуляции (MT)*, которую нестрого определяют как особую структуру, представляющую собой набор фрагментов триангуляций, образующих ориентированный граф без циклов. Трехмерные графические модели множественного разрешения, основанные на мультитриангуляции, позволяют производить обработку поверхностей с заданным уровнем детализации. Это значит, что детализация модели (число треугольников в *TIN*) устанавливается согласно некоторому критерию. Таким образом, подобрав подходящий критерий, можно получить модель, скорость обработки и качество которой будут очень высоки.

Для более строгого определения мультитриангуляции нужно ввести ряд терминов.

**Определение.** Пусть заданы две триангуляции  $T$  и  $T_i$ , такие, что  $T_i$  занимает область меньшую, нежели  $T$ .

Тогда  $T$  и  $T_i$  называются *совместимыми* [2], если в  $T$  существует подмножество треугольников  $T'$ , занимающих в точности ту же область, что и  $T_i$ , и при этом  $T'$  является триангуляцией. В таком случае,  $T_i$  называется *фрагментом* (относительно  $T$ ), а  $T'$  – *покрываемой областью*  $T_i$ .

**Определение.**  $T_i$  называется *минимально совместимым* с  $T$ , если в  $T_i$  нет подтриангуляции, совместимой с  $T$ .

**Определение.** *Локальной модификацией*  $T$  через фрагмент  $T_i$  является операция замены треугольников  $T'$  треугольниками  $T_i$  и обозначается  $T \oplus T_i$ .

**Определение.** Если все  $T_i$  совместимы с  $T$ , то последовательность преобразований  $t = (T_0, \dots, T_n)$  называется *совместимой последовательностью триангуляций*.

**Определение.** В терминах, определенных выше, *мультитриангуляция* – направленный граф без циклов, вершинами которого являются элементы совместимой последовательности триангуляций [2].

**Определение.** *Корнем* графа является полная триангуляция (самая примитивная), а *стоком* – самая примитивная (полная) для MT, построенной с помощью алгоритмов упрощения (детализации).

Мультитриангуляцию легко представить в виде следующих структур данных:

1. *Список фрагментов*: каждый фрагмент содержит список составляющих его треугольников и список указателей на треугольники покрываемой части.
2. *Список треугольников*: каждый треугольник содержит ссылки на три образующих его узла, ссылки на фрагмент, где он содержится (верхний фрагмент) и на фрагмент, который содержит его в покрываемой части (нижний фрагмент).
3. *Список вершин*: каждая вершина содержит необходимый набор геометрических данных.

На базе MT разработаны алгоритмы, позволяющие строить триангуляцию переменного разрешения произвольных поверхностей [3]. Реализация одного из таких алгоритмов существует в DirectX 8.0 API (Progressive Mesh) и поэтому имеет широкое распространение в графических системах, работающих с помощью DirectX.

Однако все разработанные алгоритмы работают, если вся структура MT находится в ОЗУ компьютера. Но часто для решения практически важных задач необходимо отобразить поверхность, большую, чем та, что умещается в оперативной памяти.

Таким образом, необходимо разработать алгоритм, работающий для больших объемов входных данных и позволяющий быстро отображать поверхность на экране без видимых погрешностей в качестве.

## 2. ПОСТРОЕНИЕ СВЕРХБОЛЬНОЙ МУЛЬТИТРИАНГУЛЯЦИИ

Основная идея построения структуры МТ для работы с большими объемами входных данных заключается в том, что в памяти можно держать только те фрагменты, которые вероятнее всего будут использоваться, т.е. те, которые войдут в результирующий список треугольников для вывода на экран. Очевидно, что такими фрагментами являются те, что потенциально могут удовлетворять заданному критерию.

Поэтому структура МТ должна позволять в реальном режиме времени загружать нужные фрагменты и выгружать ненужные.

Применяя алгоритмы построения МТ [4], структура МТ получается таковой, что при детализации одного треугольника может возникнуть необходимость детализировать еще некоторый ряд произвольных треугольников. Это значит, что для работы алгоритма выбора результирующего списка треугольников необходимым условием будет наличие в памяти всей структуры МТ. Поэтому для работы алгоритма на больших объемах входных данных структура графа МТ должна быть изменена. Чтобы уменьшить взаимозависимости треугольников, нужно попытаться упорядочить граф МТ.

Авторами предлагается вариант упорядочения, при котором граф МТ должен состоять из нескольких *независимых* подграфов, что позволит оперативно работать с каждым из них. Для этого предлагается следующий алгоритм построения МТ:

### Алгоритм построения МТ

*Шаг 1.* Все множество исходных точек триангуляции разбивается на части, каждая из которых представляет собой некоторый прямоугольник.

*Шаг 2.* Внутри каждого прямоугольника осуществляется построение МТ алгоритмом, описанным в [4].

*Шаг 3.* Оставшаяся триангуляция упрощается до самого грубого фрагмента.

### Конец алгоритма.

Трудоёмкость данного алгоритма –  $O(N)$  и получается она следующим образом: за время  $O(N)$  можно разбить все точки триангуляции на части, затем в каждой части происходит упрощение триангуляции за время  $O(N_i)$ , где  $N_i$  – число удаляемых вершин, так как  $\sum_i N_i \leq N$ , то в итоге трудоёмкость составляет  $O(N)$ , где  $N$  – число вершин в триангуляции.

Таким образом, на выходе алгоритма получится структура МТ, схематично изображенная на рис. 1.

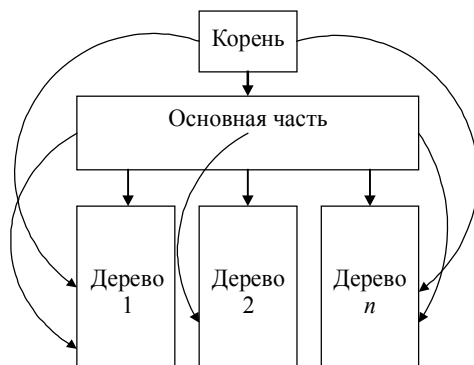


Рис. 1. Структура мультитриангуляции

Как видно из рисунка, получается несколько частей: «деревья МТ» и основная часть (по сути, *дерево 0*), которые можно загружать или выгружать независимо друг от друга. Следует отметить, что термин «дерево» используется в данном случае из соображения удобства и не подразумевает наличия свойств, определенных в теории графов.

**Определение.** Мультитриангуляцию, имеющую структуру, согласно рис. 1, будем называть *разделенной*.

Теперь рассмотрим вопрос о том, на какие прямоугольники необходимо разделить исходное множество точек, так как это существенно влияет на скорость и корректность работы алгоритма. Число прямоугольников определяет число деревьев в МТ, если это число слишком мало, то возможно появление областей с недостаточной детализацией, а, если слишком велико – объем памяти, занимаемый МТ, будет необоснованно большим.

**Определение.** Если в разделенной МТ число вершин во всех деревьях и в основной части одинаково, то такую МТ будем называть *сбалансированной*.

При использовании сбалансированной структуры МТ можно добиться хорошего соотношения между качеством визуализации и объемом занимаемой памяти МТ.

Таким образом, число деревьев для сбалансированной МТ, построенной на множестве из  $N$  узлов, можно вычислить из следующего соотношения:

$$TreeCount \cdot EdgePointCount(N, TreeCount) = \frac{N}{TreeCount},$$

где  $EdgePointCount$  – это среднее число узлов триангуляции, лежащих на границе области построения деревьев, которые будут использованы при построении основной части МТ.

Согласно ряду экспериментальных исследований, функция  $EdgePointCount$  имеет вид

$$EdgePointCount = c \cdot \sqrt[3]{\frac{N}{TreeCount}},$$

где  $c$  – константа, зависящая от вида распределения исходных точек.

Таким образом, формула для расчета числа деревьев для сбалансированной МТ будет иметь вид

$$TreeCount = \sqrt[5]{\frac{N^2}{c^3}}.$$

Зная число деревьев в МТ, разбиение на прямоугольники производится с помощью следующего алгоритма.

### Алгоритм разбиения исходного множества точек.

#### Входные данные:

1. *Nodes* – множество вершин для разбиения на части с числом вершин *Count* и ограничивающим прямоугольником *Bounds*.

2.  $N$  – число узлов в исходной триангуляции.

3. *TreeCount* – требуемое число деревьев в МТ.

Выходные данные: прямоугольники с числом узлов, примерно равным  $\frac{N}{TreeCount}$ .

Структура алгоритма:

*Шаг 1.* Если

$$\left| Count - \frac{N}{TreeCount} \right| \leq \left| \frac{Count}{2} - \frac{N}{TreeCount} \right|,$$

то прямоугольник *Bounds* является прямоугольником результирующего разбиения.

*Шаг 2.* Находим геометрический центр множества точек на входе.

*Шаг 3.* По геометрическому центру происходит разделение исходного прямоугольника *Bounds* на два (по самой длинной стороне).

*Шаг 4.* Для полученных прямоугольников рекурсивно выполняем алгоритм, начиная с *Шага 1*.

Конец алгоритма.

Трудоёмкость данного алгоритма равна  $O(N \log N)$ , так как нахождение геометрического центра и разбиения осуществляется за линейное время, а затем задача делится на две с размерностью в два раза меньше, чем исходная.

Таким образом, полная трудоёмкость алгоритма построения сбалансированной МТ равна  $O(N \log N)$ .

### 3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЧАСТИ МТ, ПОДЛЕЖАЩЕЙ ВИЗУАЛИЗАЦИИ

Чтобы была возможность выгружать фрагменты, когда они не нужны, и загружать, когда они нужны, необходимо сохранять структуру МТ на жесткий диск, а затем загружать ее. При работе со сверхбольшими МТ необходимо загружать структуру МТ частично: лишь те части, что вероятнее всего будут удовлетворять критерию выбора треугольников. Например, деревья, которые находятся вблизи наблюдателя, нужно загружать с максимальной степенью детализации, и чем дальше дерево от наблюдателя, тем ниже степень его детализации.

Чтобы определить, с какой степенью детализации следует загружать каждое из деревьев МТ, необходимо воспользоваться эффективным способом пространственного поиска объектов на плоскости, таким, как, например, *R*-дерево [5].

При загрузке структуры МТ с диска необходимо построить *R*-дерево. В качестве его элементов будет выступать структура, состоящая из номера дерева и указателя на открытый файл, содержащий дерево МТ. Таким образом, после построения *R*-дерева целесообразно загрузить лишь основную часть МТ. Остальные деревья будут загружаться в соответствии со следующим алгоритмом:

Алгоритм загрузки деревьев МТ.

Определим функцию  $RequestedLOD(TreeNumber: integer)$ , которая возвращает запрашиваемый (требуемый) уровень детализации дерева с номером *TreeNumber* в зависимости от критерия визуализации. Запрашиваемый уровень детализации может меняться от нуля до единицы, где ноль соответствует полной выгрузке дерева из памяти, а единица – полной загрузке.

Структуры данных:

1. *R*-дерево, построенное на этапе загрузки МТ с диска.

2. Прямоугольник *InterestZone*, представляющий собой зону интереса, в которой уровень загрузки деревьев МТ должен быть отличен от нуля.

3. Разделенная мультитриангуляция.

*Шаг 1.* При помощи *R*-дерева производится поиск всех деревьев МТ, попавших в зону интереса.

*Шаг 2.* Все деревья, загруженные в память, но не попавшие в зону интереса, полностью выгружаются из памяти.

*Шаг 3.* При помощи функции *RequestLOD* для всех деревьев, попавших в зону интереса, устанавливается запрашиваемый уровень детализации в соответствии с которым дерево загружается в память.

Конец алгоритма.

Что касается преимущества данного алгоритма перед простым линейным просмотром всех деревьев, то оно заключается в том, что для больших поверхностей зона интереса очень невелика, таким образом, в каждый момент времени обрабатывается лишь небольшое число деревьев.

4. Загрузка и выгрузка фрагментов МТ по требованию.

Определив для каждого из деревьев МТ уровень детализации, нужно научиться загружать дерево в соответствии с ним. Далее авторами предлагается следующий алгоритм загрузки дерева с заданным уровнем детализации:

### 4. АЛГОРИТМ ЗАГРУЗКИ ДЕРЕВА С ЗАДАНЫМ УРОВНЕМ ДЕТАЛИЗАЦИИ

*Шаг 1.* Если действительный уровень детализации равен требуемому, то алгоритм заканчивает работу. Иначе переход на *Шаг 2*.

*Шаг 2.* Если действительный уровень детализации больше требуемого, то переход на *Шаг 3*, иначе на *Шаг 4*.

*Шаг 3.* Если Число загруженных фрагментов дерева больше, чем Порог загрузки  $\times$  Запрашиваемый уровень детализации  $\times$  Максимальное число фрагментов в дереве, то всем ссылкам на нижний фрагмент треугольников из покрываемой части лишние фрагментов присваивается указатель на сток МТ. Удаляем все лишние фрагменты и освобождаем память.

*Шаг 4.* Если Число загруженных фрагментов дерева меньше, чем Порог загрузки  $\times$  Запрашиваемый уровень детализации  $\times$  Максимальное число фрагментов в дереве, то производится выделение памяти под нужные фрагменты, после чего они загружаются из файла.

Конец алгоритма.

В данном алгоритме используется Порог загрузки, необходимый для повышения скорости работы. Выигрыш получается из минимизации обращений к жесткому диску.

### 5. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

Пример экспериментального моделирования приведен на рис. 2 (на котором изображена разделенная МТ с различной степенью загрузки деревьев).

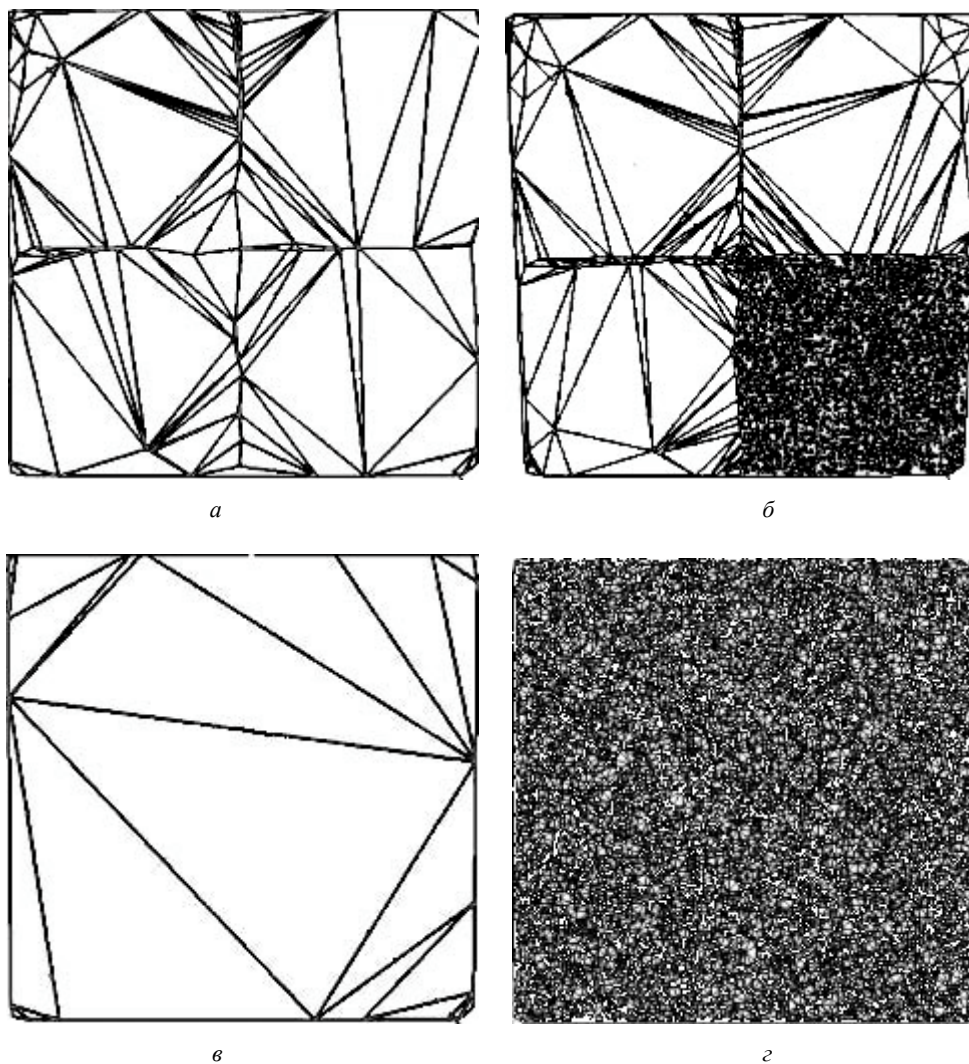


Рис. 2. Разделенная МТ с различной степенью загрузки деревьев: *а* – МТ, в которой загружена только основная часть; *б* – МТ, в которой загружена основная часть и одно дерево; *в* – корень МТ; *г* – сток МТ

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основе структуры мультитриангуляции авторами впервые предлагаются алгоритмы построения и визуализации сверхбольших моделей поверхностей на основе мультитриангуляции, позволяющие интерактивно работать с моделями, существенно превосхо-

дящими объем доступной оперативной памяти. При экспериментальном моделировании работы разработанных алгоритмов получены оценки трудоемкости алгоритмов и оценки используемой оперативной и вторичной (дисковой) памяти, которые показали высокую скорость визуализации поверхности при приемлемом объеме занимаемой оперативной памяти.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Скворцов А.В. Триангуляция Делоне и ее применение. Томск: Изд-во Том. ун-та, 2002. 128 с.
2. Puppo E. Variable resolution triangulations // Computational Geometry. 1998. V. 11. P. 219 – 238.
3. Hoppe H. Progressive Meshes // Computer Graphics. 1996. P. 99 – 108.
4. De Floriani L., Magillo P., Puppo E. Building and traversing a surface at variable resolution // Proc. Conf. On Visualization '97. 1997. P. 18 – 24.
5. Скворцов А.В. Глобальные алгоритмы R-деревьев // Геоинформатика: Теория и практика. Вып. 1. Томск: Изд-во Том. ун-та, 1998. С. 67 – 83.

Статья представлена кафедрой теоретических основ информатики факультета информатики Томского государственного университета, поступила в научную редакцию «Информатика» 18 мая 2005 г.



## ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ОБЪЕКТОВ В СИСТЕМЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ IndorCAD

Рассматривается внутренняя архитектура системы автоматизированного проектирования IndorCAD. Описывается два механизма взаимодействия различных объектов проекта IndorCAD с ядром системы. Рассматриваются основные события объектов ядра IndorCAD. Описывается принцип накопления изменений.

В настоящее время как в России, так и во всем мире, повсеместно используются программные продукты, автоматизирующие различные этапы процессов проектирования – системы автоматизированного проектирования (САПР). Исторически сложилось, что термин САПР наиболее часто применяется к программным продуктам, используемым в машиностроительной отрасли (например для проектирования деталей механизмов). Однако термин САПР используется в гораздо более широком смысле этого слова. Системы проектирования объектов транспортного, промышленного и гражданского строительства так же называются САПР. В настоящее время в России существует несколько программных продуктов, позволяющих в той или иной степени решать задачи, возникающие при проектировании таких объектов.

В настоящей работе речь пойдет о системе автоматизированного проектирования объектов транспортного, промышленного и гражданского строительства IndorCAD, разработанной в ООО «ИндорСофт» (г. Томск), и о способах взаимодействия различных объектов проекта IndorCAD с ядром системы. САПР IndorCAD разработана для работы на компьютере под управлением операционной системы Windows NT/2000/XP.

САПР IndorCAD может применяться для проектирования автомобильных и железных дорог, трубопроводов, линий электропередач, генеральных планов застройки территории, открытых карьерных выработок и т.д. Можно сказать, что система IndorCAD ориентирована на проектирование и анализ объектов, расположенных на поверхности земли (автомобильных и железных дорог, генеральных планов застройки), и линейно-протяженных объектов, расположенных в окрестности поверхности земли (трубопроводов, линий электропередач).

Одним из главных понятий, используемых в САПР IndorCAD, является *Проект* – совокупность объектов, представляющих конкретный инженерный объект (автомобильная или железная дорога, трасса трубопровода, микрорайон, карьер и т.п.). Проект состоит из одного или нескольких *Слоев* – совокупностей объектов, имеющих отношение к одной поверхности (существовавшей когда-то, существующей, проектной или иной). Объекты, относящиеся к слою, могут быть различными по типу (точечными, линейно-протяженными, площадными, абстрактными). К точечным объектам относятся, например, съемочные точки поверхности, дорожные знаки, деревья и кустарники, колодцы, опоры линий электропередач и т.д. К линейно-протяженным – структурные линии рельефа, водопропускные трубы, инженерные коммуникации и т.д. К площадным объектам относятся здания, водоемы и др. Абстрактными нематериальными объектами обычно являются объекты, реализующие способ представления поверхности (изолинии, изоконтур), или вспомогательные объекты (например подписи).

При изменении каких-либо свойств объекта, относящегося к проекту, проект должен как-то реагировать на произошедшие изменения. Например, перерисовать видимую область проектируемого объекта, выставить признак «модифицирован», перестроить поверхность (если объект относится к слою) или выполнить какие-либо другие действия. Поэтому очень важно обеспечить механизм уведомлений об

изменениях «снизу вверх», когда объект Проект уведомляется об изменениях своих подобъектов.

С другой стороны, некоторым объектам может потребоваться, чтобы их информировали о важных событиях, происходящих «выше» по дереву структуры проекта (или о событиях в объектах, находящихся в другой ветви дерева) для выполнения каких-либо действий. Поэтому так же важно обеспечить механизм уведомлений о событиях проекта, слоя и т.д.

В некоторых известных САПР объектов транспортного строительства, промышленного и гражданского строительства проблема реагирования объектов на какие-либо изменения в проекте решена примитивным способом: после любых изменений вызывается метод перерисовки плана, а все остальные действия (перестроение триангуляционной модели поверхности, пересчет изолиний и т.д.) должен вызвать пользователь. Недостатком такого подхода является необходимость помнить пользователю о том, что после выполнения одних действий (например удаления точки), он обязательно должен выполнить еще и другие (вызвать перестроение поверхности и т.д.).

Предлагаемые в настоящей работе принципы взаимодействия объектов лишены указанного недостатка и позволяют автоматически выполнять те или иные действия, связанные с изменением данных проекта. САПР IndorCAD является открытой для расширения системой, т.е. ее возможности не ограничиваются объектами и функциональностью, заложенными в базовую программу. В системе предусмотрена возможность расширения ее функциональности сторонними разработчиками, используя технологию ActiveX. В настоящей работе рассказывается, как реализовано взаимодействие объектов проекта IndorCAD с ядром системы независимо от того, являются объекты встроенными в ядро системы или написаны сторонними разработчиками.

### СТРУКТУРА ПРОЕКТА INDORCAD

На рис. 1 изображена упрощенная структура проекта IndorCAD. При создании объекта *Проект* (при загрузке проекта из файла или создание нового) создаются объекты, относящиеся к проекту: список поверхностей, список листов чертежа, а так же ряд других объектов различного назначения, которые присоединяются к проекту по технологии подключения внешних модулей [1]. Так же при создании каждого экземпляра объекта *Слой*, которых в проекте может быть несколько, ядро системы создает объекты, относящиеся к слою: зеленые насаждения, инженерные коммуникации, водопропускные трубы и другие.

При создании экземпляр внешнего класса получает ссылку на объект-родитель, которым может выступать проект или слой, а так же на проект, к которому относится создаваемый объект. Таким образом, любой объект системы «знает» свой объект-родитель и список своих детей, если они у объекта есть.